



TUGAS AKHIR - EE 184801

**ANALISIS PENGARUH PENUAAN TERMAL DARI ISOLASI
KERTAS KRAFT DENGAN PERENDAMAN MINYAK
MINERAL, MINYAK NABATI, DAN MINYAK SINTETIS
TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIS**

Muchammad Faza Nichal
NRP 0711134000161

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Danar Fahmi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - EE 184801

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF THERMAL AGING FROM
INSULATION OF KRAFT PAPER WITH IMMERSION OF
MINERAL OIL, VEGETABLE OIL, AND SYNTHETIC OIL
ON ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Muchammad Faza Nichal
NRP 0711134000161

Supervisors
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “***Analisis Pengaruh Penuaan Termal Dari Isolasi Kertas Kraft Dengan Perendaman Minyak Mineral, Minyak Nabati, Dan Minyak Sintetis Terhadap Karakteristik Elektris***” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018

Muchammad Faza Nichal
NRP. 0711 13 4000 0161

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS PENGARUH PENUAAN TERMAL DARI ISOLASI
KERTAS KRAFT DENGAN PERENDAMAN MINYAK MINYAK
MINERAL, MINYAK NABATI, DAN MINYAK SINTETIS
TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
NIP 19700712 199802 1001

Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP 19890925 201404 1002

**SURABAYA
DESEMBER, 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS PENGARUH PENUAAN TERMAL DARI ISOLASI KERTAS KRAFT DENGAN PERENDAMAN MINYAK MINYAK MINERAL, MINYAK NABATI, DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIS

Nama : Muchammad Faza Nichal
NRP : 0711 13 4000 0161
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T.,M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi S.T.,M.T.

ABSTRAK

Pentingnya isolasi pada transformator dan ketahannya terhadap penuaan termal, dilakukan penelitian tentang pengaruh dari penuaan termal pada isolasi kertas kraft dengan perendaman tiga jenis minyak. Nantinya akan dilakukan pengujian tegangan tembus atau *breakdown voltage* (BDV) pada kertas kraft yang telah mengalami penuaan termal. Proses penuaan termal akan dilakukan dengan cara memanaskan kertas kraft dan minyak yang berada di satu wadah dalam oven listrik pada suhu 150°C. Pengujian pada kertas tersebut dilakukan setiap 7 hari sekali dalam rentang waktu penuaan 42 hari. Dari hasil pengujian selama 42 hari, didapatkan nilai BDV pada kertas kraft selalu mengalami penurunan. Baik itu pada rendaman minyak mineral, minyak nabati, maupun minyak sintetis. Hasil yang lain, pada hari ke-7 penuaan termal nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati memiliki prosentase 15,37% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak mineral dan 14,18% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis. Pada hari ke-42, nilai BDV pada kertas yang yang direndam minyak nabati masih lebih tinggi 16,38% dari kertas yang direndam minyak mineral dan 12,36% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Kata kunci – *breakdown voltage*, kertas kraft, minyak mineral, minyak nabati, minyak sintetis, penuaan termal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THERMAL AGING FROM INSULATION OF KRAFT PAPER WITH IMMERSION OF MINERAL OIL, VEGETABLE OIL, AND SYNTHETIC OIL ON ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Nama : Muchammad Faza Nichal
NRP : 0711 13 4000 0161
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T.,M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi S.T.,M.T.

ABSTRACT

The importance of isolation on the transformer and its resistance to thermal aging, conducted research on the effect of thermal aging on the insulation of kraft paper with immersion of three types of oil. Later a breakdown voltage (BDV) test will be carried out on kraft paper that has thermally aged. The thermal aging process will be carried out by heating kraft paper and oil in one container in an electric oven at 150 ° C. Testing on the paper is done every 7 days in the span of 42 days of aging. From the results of testing for 42 days, the BDV value on kraft paper has always decreased. Either in mineral oil immersion, vegetable oil or synthetic oil. Another result, on the 7th day of thermal aging the value of BDV on paper immersed in vegetable oil had a percentage of 15.37% higher than paper immersed in mineral oil and 14.18% higher than paper immersed in synthetic oil. On the 42nd day, the value of BDV on paper immersed in vegetable oil is still 16.38% higher than paper immersed in mineral oil and 12.36% higher than paper immersed in synthetic oil.

Keywords- *breakdown voltage, kraft paper, mineral oil, vegetable oil, synthetic oil, thermal aging, immersion.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir Penulis yang berjudul : “Analisis Pengaruh Penuaan Termal Dari Isolasi Kertas Kraft Dengan Perendaman Minyak Minyak Mineral, Minyak Nabati, Dan Minyak Sintetis Terhadap Karakteristik Elektris” dengan tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Sehingga penulisan mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang Tua, adik, dan keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi dan doa kepada penulis, sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan.
2. Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T.,M.Sc sebagai Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
3. Bapak Daniar Fahmi S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
4. Seluruh Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi ITS-Surabaya.
5. Keluarga Besar e53 dan Naga Sobung yang telah memberikan semangat kepada penulis.
6. Serta semua pihak yang terkait dengan pengerjaan tugas akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Pada Tugas Akhir ini penulis juga menyadari dalam penyusunan buku ini terdapat kekurangan, maka dari itu penulis berharap mendapatkan kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistematika Laporan.....	4
 BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Transformator	5
2.2.1 Pengertian Transformator	5
2.2.2 Prinsip Kerja Transformator	6
2.2.3 Konstruksi Transformator	7
2.3 Dielektrik	7
2.3.1 Pengertian Dielektrik	7
2.3.2 Kekuatan Dielektrik.....	9
2.3.3 Konduktansi.....	9
2.3.4 Rugi-rugi Dielektrik.....	9
2.4 Pengertian Isolasi	10
2.5 Tahanan Isolasi	10
2.6 Bahan Isolasi Cair	10
2.6.1 Isolasi Minyak	10
2.7 Bahan Isolasi Padat	11
2.7.1 Isolasi Kertas	12
2.7.2 Struktur Isolasi Kertas	12
2.8 Proses Kegagalan Isolasi Padat.....	13
2.8.1 Kegagalan Intrinsik.....	13

2.8.2	Kegagalan Elektromekanik	14
2.8.3	Kegagalan Streamer	14
2.8.4	Kegagalan Termal	14
2.8.5	Kegagalan Erosi	14
2.9	Perendaman Isolasi Kertas pada Minyak	15
2.10	Mekanisme Penuaan Kertas	16
BAB 3 PERANCANGAN PENGUJIAN		19
3.1	Bahan Pengujian	19
3.1.1	Minyak Mineral	19
3.1.2	Minyak Nabati	19
3.1.3	Minyak Sintetis	20
3.1.4	Kertas Kraft	21
3.2	Peralatan Pengujian	21
3.2.1	Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	21
3.2.2	Modul Pengujian	21
3.2.3	Peralatan Penunjang	23
3.3	Pengondisian Sempel	24
3.4	Metode Pengujian	25
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS		27
4.1	Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Proses Penuaan Termal	27
4.1.1	Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral	31
4.2	Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Proses Penuaan Termal	33
4.2.1	Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati	37
4.3	Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Proses Penuaan Termal	39

4.3.1	Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis	43
4.4	Analisis Hubungan Penuaan Termal Isolasi Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis	46
BAB 5 PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN A		53
LAMPIRAN B		55
LAMPIRAN C		57
BIOGRAFI		59

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Kerja Transformator	6
Gambar 2.2	Isolasi Minyak Sintetis	11
Gambar 2.3	Isolasi Kertas pada Transformator	12
Gambar 2.4	Struktur Senyawa Selulosa	13
Gambar 2.5	Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja dan Umur dari Isolasi pada Transformator	16
Gambar 2.6	Plot Arrhenius Dengan Perbedaan Mekanisme Penuaan.....	17
Gambar 3.1	Minyak Mineral Shell Diala B.....	19
Gambar 3.2	Minyak Nabati Kelapa Murni	20
Gambar 3.3	Minyak Sintetis Xiameter PMX-561	20
Gambar 3.4	Kertas Kraft <i>Diamond Dotted Paper</i>	21
Gambar 3.5	Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	22
Gambar 3.6	Skema Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	22
Gambar 3.7	(a) Modul Pengujian (b) Elektroda Jamur Berbahan <i>StainlessSteel</i>	23
Gambar 3.8	(a) Gelas Beker ukuran 1000ml, (b) Oven Listrik	23
Gambar 3.9	Diagram Alir Pengondisian Sampel	24
Gambar 3.10	Diagram Alir Metode Pengujian BDV pada Kertas...	26
Gambar 4.1	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7.....	27
Gambar 4.2	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14.....	28
Gambar 4.3	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21.....	28
Gambar 4.4	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28.....	29
Gambar 4.5	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35.....	30
Gambar 4.6	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42.....	30
Gambar 4.7	Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Penuaan Termal	31
Gambar 4.8	Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Penuaan Termal	32
Gambar 4.9	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7	33

Gambar 4.10	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14.....	34
Gambar 4.11	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21	35
Gambar 4.12	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28.....	35
Gambar 4.13	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35	36
Gambar 4.14	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42.....	36
Gambar 4.15	Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Penuaan Termal.....	38
Gambar 4.16	Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Penuaan Termal.....	39
Gambar 4.17	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7	40
Gambar 4.18	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14	40
Gambar 4.19	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21	41
Gambar 4.20	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28	41
Gambar 4.21	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35	42
Gambar 4.22	Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42	43
Gambar 4.23	Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Penuaan Termal	44
Gambar 4.24	Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Penuaan Termal	45
Gambar 4.25	Grafik Karakteristik Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam 3 Jenis Minyak	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Mineral.....	27
Tabel 4.2	Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Mineral.....	27
Tabel 4.3	Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Mineral.....	28
Tabel 4.4	Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Mineral.....	29
Tabel 4.5	Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Mineral.....	29
Tabel 4.6	Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Mineral.....	30
Tabel 4.7	Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Mineral ...	31
Tabel 4.8	Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Mineral	32
Tabel 4.9	Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Nabati.....	33
Tabel 4.10	Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Nabati.....	34
Tabel 4.11	Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Nabati.....	34
Tabel 4.12	Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Nabati.....	35
Tabel 4.13	Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Nabati.....	35
Tabel 4.14	Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Nabati.....	36
Tabel 4.15	Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Nabati	37
Tabel 4.16	Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Nabati ..	38
Tabel 4.17	Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Sintetis	39
Tabel 4.18	Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Sintetis	40
Tabel 4.19	Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Sintetis	40
Tabel 4.20	Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Sintetis	41
Tabel 4.21	Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Sintetis	42
Tabel 4.22	Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Sintetis	42
Tabel 4.23	Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Sintetis	43
Tabel 4.24	Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Sintetis.	45
Tabel 4.25	Hasil pengujian BDV pada Kertas kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis setelah penuaan termal.....	46
Tabel 4.25	Perbandingan Nilai BDV Hasil Regresi pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu peralatan listrik tegangan tinggi yang sering digunakan. Transformator memainkan peran penting dalam menyediakan pasokan listrik yang dapat diandalkan dan efisien dan mewakili peralatan yang paling penting dalam transmisi tenaga listrik dan sistem distribusi[1]. Pada transformator terdapat dua bahan dielektrik, yaitu isolasi cair dan isolasi padat. Bahan dielektrik padat sangat penting dalam transformator listrik untuk memisahkan gulungannya. Biasanya bahan dielektrik ini direndam dalam media transfer panas dielektrik cairan untuk mengisolasi konduktor dan membuang panas yang dihasilkan selama operasi. Media transfer panas, yang biasanya berupa minyak seperti minyak mineral atau minyak nabati yang cukup kuat, harus bertindak sebagai dielektrik juga[2].

Penggunaan isolasi kertas dan minyak secara luas berkaitan dengan biaya rendah, keandalan yang tinggi, proses manufaktur yang sederhana dan perawatan yang rendah. Namun, meskipun memiliki keuntungan seperti yang telah disebutkan, isolasi kertas dan minyak memiliki kekurangan yang fatal, yaitu penuaan. Dalam kondisi operasi, kertas yang diresapi minyak, sejenis isolasi minyak dan kertas yang digunakan dalam transformator daya, menurun dalam jangka panjang di bawah panas, medan listrik, kelembaban dan zat kimia[4]. Penuaan termal adalah salah satu fenomena paling penting yang mempengaruhi umur transformator tegangan tinggi[3].

Minyak mineral sebagai dielektrik cair dan kertas sebagai dielektrik padat banyak digunakan sebagai sistem isolasi utama dalam transformator tegangan tinggi. Dan secara umum, isolasi kertas dianggap sebagai faktor penentu masa hidup transformer[3]. Isolasi kertas pada transformator tegangan tinggi ada bermacam-macam, seperti krep, kraft, pressboard, dan presspaper.

Minyak isolasi berbasis mineral telah bekerja dengan baik selama bertahun-tahun. Namun, dalam situasi di mana ada kebocoran yang tidak disengaja pada trafo, minyak akan menjadi berbahaya bagi lingkungan karena beracun dan tidak dapat terurai. Hal ini telah mengalihkan perhatian terhadap bahan isolasi berbasis bio yang berkelanjutan dan dapat terurai, dan karenanya mengurangi masalah lingkungan. Publikasi

terbaru telah menunjukkan kepraktisan cairan ester alami sebagai cairan isolasi alternatif yang layak[5].

Minyak nabati dipilih sebagai minyak transformator karena memiliki potensi untuk digunakan sebagai minyak transformator yang lebih ramah lingkungan[2]. Selama lebih dari seratus tahun, minyak mineral berbasis petroleum yang dimurnikan menjadi "*transformer oil grade*" telah digunakan dalam transformator yang berisi cairan. Cairan hidrokarbon sintetis, silikon, dan cairan ester diperkenalkan pada paruh kedua abad kedua puluh, tetapi penggunaannya terbatas pada transformator distribusi[6].

Pada isolasi padat, kertas adalah salah satu bahan insulasi pertama yang digunakan dalam teknologi tegangan tinggi[7]. Bahan dielektrik yang paling banyak digunakan adalah kertas kraft[2]. Kertas kraft, terbuat dari pulp selulosa, memiliki sifat isolasi yang baik dan ekonomis, tetapi juga memiliki stabilitas termal yang lebih rendah dari yang dikehendaki dan kekuatan dengan paparan jangka panjang terhadap suhu tinggi[2].

Pada teknik *windings* yang sudah umum dalam industri kabel, kertas kraft digunakan dalam transformator dan kabel berkapasitas tinggi. Kontraksi termal kertas yang cukup rendah dan elongasi elastis pada suhu rendah mampu diterima tanpa menyebabkan masalah mekanis. Lebih-lebih, kertas sangat murah dibandingkan dengan kaset plastik[1].

Karena penuaan termal merupakan fenomena paling penting yang mempengaruhi umur transformator[3], maka pada penelitian ini dilakukan analisis penuaan termal pada isolasi kertas yang diresapi isolasi minyak. Kertas yang digunakan adalah kertas yang sudah umum dipakai sebagai isolasi pelindung konduktor pada transformator, yaitu kertas kraft. Sedangkan minyak yang digunakan terdapat tiga jenis, yaitu minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Analisis dilakukan dengan melihat tegangan tembus atau *breakdown voltage* (BDV) pada kertas yang telah diresapi minyak yang juga dipanaskan dalam oven yang bersuhu 150°C dengan periode waktu selama 42 hari dan dilakukan uji setiap 7 hari. Pengujian dilakukan pada kertas kraft berdasarkan standar IEC 60156.

Hal yang menjadi permasalahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang pertama adalah menganalisis karakteristik isolasi kertas akibat perendaman isolasi minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Lalu setelah itu menguji pengaruh temperatur tinggi pada isolasi kertas

yang direndam dalam isolasi minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis serta menganalisis pengaruh penuaan termal pada isolasi kertas yang direndam dalam minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Dan pada akhirnya membandingkan 3 jenis isolasi minyak yang baik untuk perendaman pada isolasi kertas serta ketahanannya terhadap temperatur yang tinggi.

Kertas yang digunakan adalah kertas kraft jenis *Diamond Dotted Paper* (DDP) dengan ketebalan 0,125 mm yang ditumpuk sebanyak 4 lembar sehingga menjadi 0,5 mm. Minyak yang digunakan untuk perendaman adalah minyak mineral Shell Dialla B, minyak nabati kelapa murni, dan minyak sintetis Silikon. Jenis pengujian adalah *breakdown voltage* (BDV) pada isolasi kertas dengan media perendaman minyak. Pengujian dilakukan menggunakan tegangan AC dengan frekuensi 50 Hz. Elektroda yang digunakan adalah besi setengah bola dengan diameter 25 mm. Penuaan termal dilakukan di dalam oven yang tidak vakum dan dengan tekanan udara yang tidak dapat diatur karena keterbatasan alat. Temperatur yang digunakan adalah konstan 150°C. Perendaman dan pemanasan pada kertas dan minyak dilakukan selama 42 hari. Pengujian dilakukan tidak dalam kondisi vakum sempurna serta tekanan udara dan kelembapan yang tidak dapat disesuaikan, karena keterbatasan alat uji.

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah mengetahui karakteristik isolasi kertas yang direndam dengan isolasi minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis dengan uji BDV. Mengetahui pengaruh temperatur tinggi terhadap isolasi kertas yang direndam dalam minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis dengan uji BDV. Mengetahui pengaruh penuaan termal pada isolasi kertas yang direndam dalam minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Mengetahui jenis isolasi minyak yang baik untuk perendaman isolasi kertas serta ketahanannya terhadap temperatur tinggi.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan beberapa metode penelitian. Yaitu studi literatur, metode pengujian, pengujian, analisis hasil pengujian, dan pembuatan laporan. Secara lebih jelasnya akan dipaparkan sebagai berikut.

Studi literatur dilakukan berdasarkan jurnal, buku, atau yang berfokus pada isolasi minyak, isolasi kertas, penuaan termal, dan karakteristik tegangan tinggi. Bertujuan untuk memperoleh informasi

yang dapat membantu dan menunjang topik yang akan dibahas pada tugas akhir ini.

Selanjutnya adalah metode pengujian. Metode pengujian dilakukan guna mempersiapkan pengujian dengan memberikan perlakuan pada sampel uji dan mempersiapkan alat uji.

Lalu dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik elektris dengan melakukan uji BDV berdasarkan standar IEC 60156. Pada pengujian ini juga dilakukan pengumpulan data yang nantinya akan dianalisis.

Analisis dari hasil pengujian selanjutnya dilakukan pada data yang didapat pada saat pengujian berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan.

Hingga akhirnya dilakukan tahapan akhir penelitian ini yaitu pembuatan laporan setelah semua proses penelitian sebelumnya sudah dilakukan.

1.2 Sistematika Laporan

Pembuatan laporan tugas akhir terbagi kedalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut.

Pada bab pertama ini akan dibahas mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan dan relevansi.

Pada bab kedua akan diterangkan teori mengenai transformator, jenis isolasi pada transformator, penyebab kegagalan pada isolasi kertas dan isolasi minyak, dan ketahanan dielektrik pada isolasi.

Pada bab ketiga akan dibahas mengenai metode dan langkah – langkah prosedur pengujian ketahanan dielektrik pada isolasi transformer. Juga akan dibahas mengenai persiapan bahan yang akan diuji.

Pada bab keempat akan dipaparkan hasil dari pengujian pada bahan serta dilakukan analisis data mengenai pengaruh dari penuaan termal yang terjadi pada isolasi kertas yang direndam dalam 3 jenis minyak yang berbeda.

Pada bab terakhir dijelaskan mengenai kesimpulan dari seluruh hasil penelitian dan pembahasan, serta saran yang diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian isolasi kertas lebih lanjut.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian BDV pada isolasi kertas kraft yang sebelumnya telah dilakukan pemanasan dengan direndam (penuaan termal) dalam minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Berdasarkan penelitian [8], kekuatan dielektrik isolasi kertas yang direndam dalam minyak transformator dalam rentang waktu tertentu akan meningkat. Hal ini karena minyak mengisi rongga udara (*void*) pada kertas melalui ikatan adhesi sehingga kekuatan dielektrik meningkat pada bagian yang seharusnya berisi udara. Sedangkan pada penelitian [1], penuaan termal pada kertas yang diresapi minyak mengalami penurunan kualitas listrik dan mekanis. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan menggunakan minyak jenis mineral.

Pada penelitian [2], disebutkan bahwa penggunaan minyak nabati akan menjadi alternatif minyak isolasi pada transformator karena ramah lingkungan. Bahan dasar pembuatan minyak nabati untuk transformator bisa dari berbagai macam tumbuh-tumbuhan, yaitu bisa berasal dari ekstrak kelapa sawit, ekstrak kelapa, ekstrak biji bunga matahari, ekstrak biji *canola*, dan lain sebagainya. Penelitian terkait kertas yang diresapi minyak nabati [9, 10, 11, 12], membuktikan bahwa isolasi kertas yang diresapi dengan minyak nabati mengalami tingkat penuaan yang rendah dibanding minyak mineral.

2.2 Transformator

2.2.1 Pengertian Transformator

Transformator, merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai penyalur daya atau tenaga dari satu sisi menuju sisi lain tanpa terhubung secara elektrik (langsung). Terdapat jenis-jenis dari transformator yang sering berada di lapangan, diantara lain: transformator penurun tegangan (*step down*), transformator penaik tegangan (*step up*), transformator instrumen, dan transformator pengujian. Transformator penurun tegangan, yaitu tegangan pada sisi primer lebih tinggi daripada sisi sekunder yang berakibat membuat arus pada sisi sekunder lebih besar dari pada sisi primernya. Sebaliknya pada transformator penaik tegangan, arus primer akan lebih besar dari pada sisi sekundernya.

2.2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari transformator adalah mentransferkan atau mengirimkan daya dari satu sisi ke sisi lainnya. Transformator tidak terhubung secara elektrik pada kedua sisinya, namun transformator memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik yang dibentuk oleh lilitan sisi primer yang kemudian diterima dengan dari sisi lainnya dengan rumus perbandingan tegangan dan lilitan pada primer dan sekundernya [13] sebagai berikut:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad (2.1)$$

Keterangan:

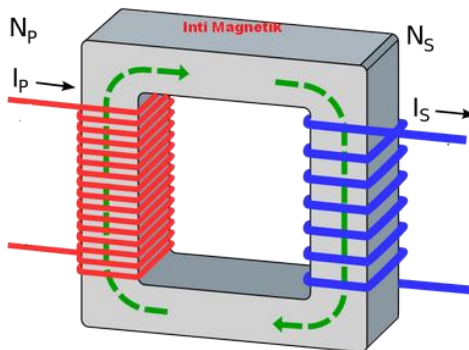
V_P : tegangan pada sisi kumparan primer.

V_S : tegangan pada sisi kumparan sekunder.

N_P : banyaknya jumlah lilitan pada kumparan primer.

N_S : banyaknya jumlah lilitan pada kumparan sekunder.

Pada tegangan, nilainya akan berbanding lurus dengan banyaknya kumparan, karena semakin besar tegangan maka semakin banyak pula jumlah belitannya. Namun, apabila berbicara mengenai arus akan berbanding terbalik dengan tegangan maupun banyaknya kumparan, karena dimana tegangan besar akan memiliki arus yang kecil, begitupun sebaliknya sesuai dengan rumus transformator sebagai berikut:



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Transformator

$S_{in} = S_{out}$, dimana:

$$S = V \cdot I$$

Keterangan:

S_{in} : kapasitas/daya masukan transformator.

S_{out} : kapasitas/daya keluaran transformator.

V : tegangan nominal transformator.

I : arus melalui transformator.

2.2.3 Konstruksi Transformator

Konstruksi dari transformator, juga menentukan kualitas dari transformator, seperti: fluks yang timbul pada transformator, arus *inrush*, atau arus magnetisasi pada saat pertama kali transformator akan digunakan, bahkan dari arus *inrush* tersebut dapat membuat transformator rusak atau terbakar. Konstruksi pada inti transformator saat adalah:

A. Bentuk Inti (*Core Form*)

Bentuk konstruksi inti, akan memiliki bentuk fisik yang berbeda dengan bentuk , yaitu dimana inti transformator dikelilingi oleh kumparan. Fluks magnetik yang terjadi pada bentuk core memiliki fluks yang penuh tanpa terbagi ataupun bercabang.

B. Bentuk Cangkang (*Shell Form*)

Konstruksi transformator dengan inti berbentuk shell, memiliki bentuk fisik kumparan yang dikelilingi oleh inti dari transformator. Sehingga fluks magnetik yang terjadi pada inti transformator terbagi menjadi 2.

Dari dua jenis konstruksi transformator tersebut memiliki perbedaan yang cukup banyak, mulai dari: fluks magnetik pada inti transformator, isolasi dari transformator, rugi-rugi (*losses*), perawatan transformator dan lain-lain.

2.3 Dielektrik

2.3.1 Pengertian Dielektrik

Dielektrik merupakan suatu bahan yang bisa berupa padat, cair, dan gas yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil. Pada bahan dielektrik tidak terdapat banyak elektron-elektron yang bergerak bebas yang diakibatkan oleh pengaruh medan listrik. Sehingga apabila diberikan medan potensial yang berbeda (tegangan) mampu untuk mempertahankan medan potensial tersebut sehingga medan potensial

tersebut tidak dengan mudah melewati bahan dielektrik tersebut. Di dalam bahan dielektrik semua elektron-elektron terikat dengan kuat pada intinya sehingga terbentuk suatu struktur regangan yang pada akhirnya bisa dibedakan menjadi benda padat, gas dan cair.

Dalam pemilihan bahan dielektrik pada suatu peralatan atau komponen listrik menjadi hal yang patut diperhatikan yaitu dengan meminimalkan semua rugi-rugi yang mungkin terjadi di dalam sistem, memiliki kekuatan mekanisme yang baik, tahan terhadap lingkungan sekitar.

Bahan dielektrik padat digunakan pada hampir seluruh rangkaian listrik dan peralatan listrik untuk mengisolir bagian-bagian pembawa arus dari bagian lainnya. Isolasi padat mempunyai kekuatan tegangan tembus yang lebih tinggi dibandingkan dengan isolasi cair dan isolasi gas. Studi yang paling penting dalam teknik isolasi adalah studi tegangan tembus pada dielektrik padat. Jika tegangan mampu menembus bahan dielektrik, maka isolasi padat akan rusak secara permanen, sedangkan pada isolasi cair sebagian akan kembali ke sifatnya semula dan sebagian lainnya tidak atau meninggalkan residu, dan pada isolasi gas akan kembali ke sifatnya semula tanpa meninggalkan residu seperti isolasi cair.

Masing – masing jenis dielektrik memiliki fungsi yang penting dari suatu bahan isolasi adalah[14]:

- a. Untuk dapat mengisolasi antara suatu penghantar dengan penghantar lainnya.
- b. Untuk menahan gaya mekanis akibat adanya arus pada konduktor yang diisolasi.
- c. Mampu menahan tekanan yang diakibatkan oleh suhu dan reaksi kimia.

Tekanan yang disebabkan oleh medan listrik, gaya mekanik, thermal dan reaksi kimia dapat terjadi secara bersamaan, sehingga perlu diketahui efek dari semua parameter tersebut, maka suatu bahan isolasi dinyatakan ekonomis jika bahan tersebut dapat menahan semua parameter tersebut dalam periode yang lama. Berikut sifat – sifat dari suatu bahan dielektrik antara lain[14]:

- a. Kekuatan dielektrik
- b. Konduktansi
- c. Tahanan isolasi
- d. Rugi – rugi dielektrik
- e. *Partial Discharge*

f. *Tracking Strength*

2.3.2 Kekuatan Dielektrik

Pada dielektrik, semua bahan mempunyai tingkat ketahanan yang disebut dengan kekuatan dielektrik (*dielectric strength*) yang dapat diartikan sebagai tekanan listrik yang mampu ditahan oleh dielektrik tersebut tanpa merubah sifatnya menjadi konduktif. Apabila bahan dielektrik berubah sifat menjadi konduktif, maka tahanan suatu dielektrik sudah mengalami *breakdown*. Tegangan tembus (*breakdown voltage*) suatu isolator adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk merusak dielektrik tersebut. Kekuatan dielektrik dari suatu bahan dinyatakan dengan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan dielektrik[14]. Sehingga kekuatan dielektrik dapat diartikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan.

2.3.3 Konduktansi

Ukuran kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan muatan listrik. Nilai konduktansi berbanding terbalik dengan nilai hambatan. Nilai konduktansi yang besar menunjukkan bahwa bahan tersebut mampu mengkonduksikan arus dengan baik, apabila nilai konduktansi rendah maka bahan tersebut tidak dapat mengalirkan arus dengan baik. Nilai konduktansi akan menurun dengan kenaikan temperature.

2.3.4 Rugi-rugi Dielektrik

Rugi-rugi dielektrik pada isolasi tegangan tinggi merupakan ukuran penting terhadap kualitas material dari isolasi. Suatu bahan dielektrik tersusun atas molekul-molekul dan elektron-elektron yang terikat kuat dengan inti atomnya. Ketika bahan tersebut belum dikenai medan listrik, maka susunan molekul dielektrik tersebut masih belum beraturan (tidak tersusun rapi). Ketika molekul tersebut terkena medan listrik, maka muatan positif akan mengalami gaya yang searah dengan medan listrik dan electron dalam molekul tersebut akan mengalami gaya yang berlawanan dengan arah medan listrik.

Perubahan arah molekul akan menimbulkan gesekan anatar melekul – molekul yang lain karena adanya medan listrik yang berubah setiap saat. Gesekan antar molekul ini akan menimbulkan panas yang disebut dengan rugi-rugi dielektrik.

2.4 Pengertian Isolasi

Isolasi merupakan komponen atau peralatan yang digunakan sebagai pengamanan pada peralatan listrik yang harus mampu mengamankan peralatan atau pengguna dari peralatan listrik sehingga tidak terjadi lompatan api (*flashover*) dan percik api (*sparkover*). Kekuatan, ketahanan dan kualitas dari setiap isolasi sangat berpengaruh terhadap sistem yang berjalan. Isolasi listrik dikatakan baik apabila tingkat ketahanan isolasinya yang tinggi, serta kekuatan dielektriknya yang juga tinggi atau baik.

2.5 Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi merupakan arus bocor yang terjadi pada isolator baik dalam keadaan aman ataupun tidak, namun apabila sudah terjadi arus bocor pada isolator tersebut, maka dapat dikatakan bahwa isolator tersebut sudah dilalui arus dan isolator tersebut sudah tidak dapat digunakan kembali. Karena arus akan cenderung melewati jalur yang sudah ada tersebut, oleh karena itu menyebabkan isolator akan terus mengalami arus bocor.

2.6 Bahan Isolasi Cair

Salah satu jenis bahan isolasi yang sering digunakan adalah bahan isolasi cair. Keunggulan bahan isolasi cair dapat mengisi seluruh volume bahan yang diisolasi dan secara simultan akan mendisipasikan panas secara merata atau menyeluruh. Media minyak memiliki efisiensi yang lebih baik dari pada udara atau nitrogen dalam kemampuan menahan disipasi panas saat digunakan transformator.

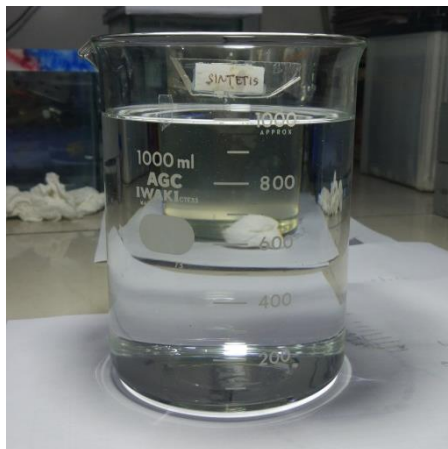
Isolasi zat cair merupakan campuran dari hidrokarbon. Saat digunakan untuk mengisolasi peralatan listrik, isolasi cair harus terbebas dari uap air hasil oksidasi karena akan berdampak pada kualitas dari isolasi cair tersebut. Faktor penting yang berdampak pada kekuatan dielektrik dari isolasi cair adalah keberadaan kontaminan yang ditimbulkan akibat tercampur dengan partikel-partikel yang lain. Keberadaan kontaminan pada isolasi cair dapat menurunkan kekuatan dielektriknya, karena medan listrik yang bergerak dari anoda ke katoda akan melewati partikel-partikel kontaminan tersebut.

2.6.1 Isolasi Minyak

Isolasi minyak merupakan suatu bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang mempunyai jarak

yang sangat berdekatan untuk mencegah terjadinya adanya arus bocor atau hubung singkat pada rangkaian, dan dapat melindungi pelindung mekanik dari kerusakan yang diakibatkan akibat korosif atau tekanan, baik tekanan elektrik maupun tekanan mekanik.

Isolasi minyak memiliki peranan penting dalam sistem isolasi transformator dan juga berfungsi sebagai pendingin antara kumparan kawat atau inti besi dengan sirip pendingin. Adapun beberapa tugas utama pada isolasi minyak, yaitu sebagai media isolator, media pendingin untuk memadamkan busur api dan media pelindung terhadap proses oksidasi yang mampu menyebabkan korosif pada peralatan logam.



Gambar 2.2 Isolasi Minyak Sintetis

2.7 Bahan Isolasi Padat

Bahan isolasi padat dapat digunakan pada segala macam rangkaian dan peralatan listrik untuk memisahkan satu konduktor dengan konduktor yang lainnya saat beroperasi pada sistem yang bertegangan dengan peralatan yang tidak bertegangan atau dengan sistem yang memiliki tegangan yang berbeda.

Isolasi padat biasanya digunakan pada sistem yang terletak diluar maupun didalam sistem. Aplikasi yang digunakan pada isolasi padat diluar mempunyai space ruang yang luas, contoh isolator pada tiang-tiang jaringan distribusi dan transmisi. Sedangkan pada isolasi padat dildalam sistem memiliki space ruang yang dapat disesuaikan dengan

kebutuhan, contohnya adalah penggunaan kertas kraft pada transformator untuk memisahkan belitan tiap polritas tegangan.

2.7.1 Isolasi Kertas

Komponen yang paling penting dari sistem isolasi kertas adalah yang membungkus lilitan konduktor tembaga atau alumunium yang tidak mudah diganti seperti pada Gambar 2.3. Isolasi kertas sangat penting karena keadaan kertas yang tidak bisa direkondisi, reklamasi ataupun diganti. Oleh karena itu umur material isolasi kertas, menjadi faktor pembatas dalam operasi transformator. Sebagaian besar isolasi padat yang digunakan pada transformator memiliki karakteristik-karakteristik mekanis dan elektrik yang baik. Sifat ini akan berkurang apabila dipergunakan pada suhu yang tinggi dan dapat memperpendek umur transformator[5].



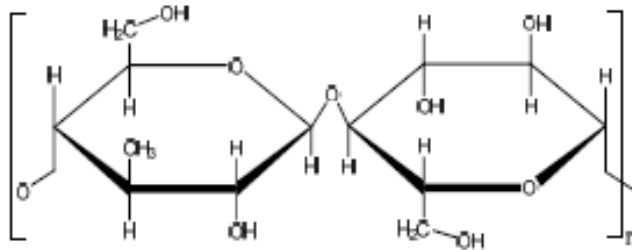
Gambar 2.3 Isolasi Kertas pada Transformator

2.7.2 Struktur Isolasi Kertas

Kertas isolasi terbuat dari bahan utama selulosa, kertas untuk dielektrik diproses dari pulp kayu kraft, kayu lunak atau kayu pinus. Isolasi kertas terdiri dari 90% selulosa, 6-7% hemi-selulosa, 3-4% lignin. Pada keadaan kering kertas kraft terdiri dari 40-50% selulose, 10-30 hemi-selulosa dan 20-30% lignin[15]. Selulosa mempunyai rumus kimia $C_6H_{10}O_5$ yang merupakan polimer yang mengikat molekul glukosa.

Pada pembentukan kertas, kandungan air dapat mencapai 98%, dengan proses selanjutnya yaitu proses pengeringan supaya kandungan air sekitar 5%. Dielektrik pada kertas tergantung dari minyak yang

direndamkan dan selulosa bahan kertasnya. Perendaman kertas menggunakan minyak akan mengurangi kelembapan dan tertutupnya pori – pori pada kertas oleh minyak sehingga sifat dielektriknya semakin kuat dan lebih baik.



Gambar 2.4 Struktur Senyawa Selulosa

2.8 Proses Kegagalan Isolasi Padat

Penelitian kegagalan pada isolasi padat secara experimental menunjukkan bahwa tinggi kuat gagal medan ditentukan oleh struktur mikroskopik benda uji, bentuk medan, dan jenis tegangan. Kegagalan pada isolasi padat disebabkan oleh berbagai hal bergantung pada jenis isolasi padat dan jenis tekanan listrik yang dikenakan pada isolasi padat. Oleh sebab itu yang pertama akan diperhatikan adalah ketergantungan tegangan kegagalan pada temperatur dan jangka waktu pengujian[16].

2.8.1 Kegagalan Intrinsik

Kegagalan asasi (intrinsik) adalah kegagalan yang disebabkan oleh jenis dan suhu bahan dengan menghilangkan pengaruh luar seperti tekanan, bahan elektroda, ketidakmurnian, kantong kantong udara. Kegagalan intrinsik terjadi jika diterapkan tegangan tinggi pada lapisan dielektrik yang tipis. Hal ini terjadi pada waktu yang singkat dan disebabkan karena medan listrik yang tinggi dimana elektron mendapatkan energi dari tegangan luar sehingga melintasi celah yang terlarang (*forbidden energy gap*) sampai ke lapisan konduksi. Adapun sifat dari kegagalan ini adalah:

- a. Terjadi pada suhu yang rendah, suhu kamar atau lebih rendah. Kekuatan kegagalan tidak bergantung pada bentuk gelombang dari tegangan yang diterapkan dan terjadi pada waktu yang singkat.
- b. Kegagalan tergantung pada bentuk, besar dan spesimen dan bentuk dari kegagalan.

2.8.2 Kegagalan Elektromekanik

Kegagalan elektromekanik adalah kegagalan yang disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit zat isolasi padat sehingga timbul tekanan listrik pada bahan tersebut. Tekanan listrik yang terjadi menimbulkan tekanan mekanik yang menyebabkan timbulnya tarik menarik antara kedua elektroda tersebut.

2.8.3 Kegagalan Streamer

Kegagalan streamer adalah kegagalan yang terjadi setelah banjir (avalanche). Sebuah elektron yang memasuki *band conduction* di katoda akan bergerak menuju anoda dibawah pengaruh medan memperoleh energi antara benturan dan kehilangan energi pada waktu membentur. Jika lintasan bebas cukup panjang maka tambahan energi yang diperoleh melebihi pengionisasi latis (latice). Akibatnya dihasilkan tambahan elektron pada saat terjadi benturan. Jika suatu tegangan V dikenakan terhadap elektroda bola, maka pada media yang berdekatan (gas atau udara) timbul tegangan. Karena gas mempunyai permitivitas lebih rendah dari zat padat sehingga gas akan mengalami tekanan listrik yang besar. Akibatnya gas tersebut akan mengalami kegagalan sebelum zat padat mencapai kekuatan asasinya. Karena kegagalan tersebut maka akan jatuh sebuah muatan pada permukaan zat padat sehingga medan yang tadinya seragam akan terganggu. Karena medan ini melebihi kekuatan intrinsik maka akan terjadi kegagalan pada zat padat. Proses kegagalan ini terjadi sedikit demi sedikit yang dapat menyebabkan kegagalan total.

2.8.4 Kegagalan Termal

Kegagalan termal sebuah peralatan akan terjadi apabila rugi panas konduktor yang terbentuk karena arus lebih yang disalurkan pada dielektrikum dan rugi daya yang terbentuk pada dielektrikum itu sendiri tidak dapat disalurkan pada lingkungan sekitar melalui konduktansi, hal ini akan menyebabkan peningkatan temperatur tak terbatas pada bahan isolasi.[16]

2.8.5 Kegagalan Erosi

Pada pembuatan suatu isolasi dari kabel bawah tanah dan alat lainnya terkadang tidak sempurna, sehingga sering terdapat rongga

dalam isolasi. Rongga ini berisi udara atau benda lain, yang mempunyai kekuatan medan atau kekuatan dielektrik yang berbeda dengan kekuatan dielektrik dari bahan isolasi. Bila rongga berisi udara maka akan terdapat konsentrasi medan listrik. Karena itu, pada nilai tegangan normal kekuatan medan pada rongga dapat bernilai melebihi kekuatan kegagalan, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan. Kekuatan medan dalam rongga ditentukan oleh perbandingan dari permitivitas dan bentuk rongga. Pada setiap pelepasan muatan terjadilah panas, dan lama kelamaan muka dari rongga akan terjadi karbonisasi dan dapat merusak susunan kimia isolasi dan terjadinya erosi. Kegagalan Erosi, adalah kegagalan yang disebabkan zat isolasi pada tidak sempurna, karena adanya lubang-lubang atau rongga dalam bahan isolasi padat tersebut. Lubang/rongga akan terisi oleh gas atau cairan yang kekuatan gayanya lebih kecil dari kekuatan zat padat.

Benturan elektron pada anoda mengakibatkan terlepasnya ikatan kimiawi pada isolasi padat tersebut. Demikian pula pemboman katoda oleh ion-ion positif akan mengakibatkan kenaikan suhu yang menyebabkan ketidakstabilan termal, sehingga dinding zat padat lama kelamaan menjadi rusak, rongga menjadi semakin besar dan isolasi menjadi tipis.

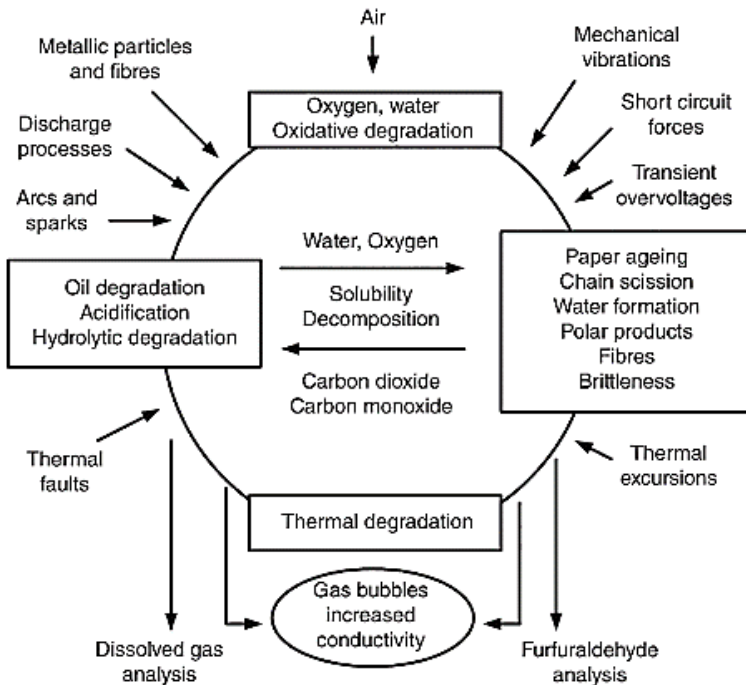
2.9 Perendaman Isolasi Kertas pada Minyak

Impregnasi atau perendaman isolasi kertas kedalam isolasi minyak untuk menambah kekuatan dielektrik pada transformator. Impregnasi kertas menggunakan minyak akan mengurangi pengaruh kelembapan dan terisinya pori-pori kertas sehingga dielektrik dalam bentuk komposit menjadi lebih baik. Dengan lamanya waktu operasi, maka keandalan dari transformator akan menurun dan resiko kegagalan akan meningkat[17].

Proses impregnasi dapat dilakukan dengan merendam pada isolasi kertas kedalam isolasi minyak, sehingga terjadi ikatan adhesi antara minyak dan kertas. Kekuatan ikatan tergantung kemampuan daya tarik partikel pada minyak dan kertas. Pada bahan isolasi kertas secara mikroskopis akan terdapat *void* atau bagian yang berlubang. Dengan impregnasi maka pori-pori (*void*) tersebut akan tertutup oleh minyak sehingga akan menambah nilai tegangan tembus pada isolasi kertas. Proses impregnasi juga bertujuan untuk mengurangi sifat hidroskopis pada kertas.

2.10 Mekanisme Penuaan Kertas

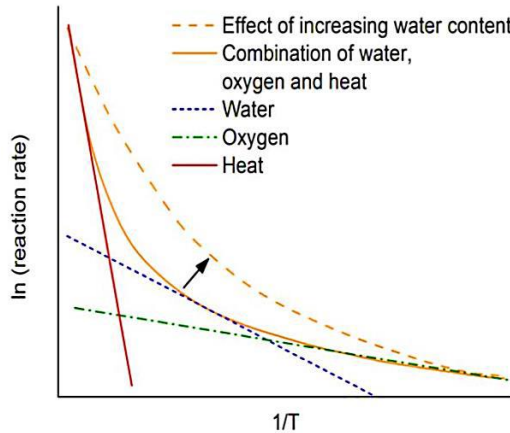
Isolasi kertas dan minyak sangat berkontribusi dalam proses terjadinya kegagalan pada transformator, dimana kertas yang diimpregnasi oleh minyak digunakan untuk tujuan mekanis dan elektrik. Penuaan minyak dan kertas di transformator adalah fenomena yang kompleks dan dapat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti yang dijelaskan oleh Gambar 2.5[18]. Hal ini menunjukkan bahwa penuaan minyak dan kertas dapat dipercepat dengan adanya oksigen dan air. Termal juga dapat meningkatkan penuaan minyak dan kertas. Sumber lain yang dapat mempercepat penuaan untuk kertas bias berasal dari air, asam dan oksigen yang dihasilkan oleh penuaan minyak.



Gambar 2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja dan Umur dari Isolasi Pada Transformator[18]

Saat kertas mencapai titik jenuh, serat pada kertas akan terlarut dalam minyak. Serat-serat yang dikombinasikan dengan partikel-partikel

metalik yang berasal dari tangka dapat memulai pelepasan yang dapat menyebabkan percikan dalam minyak. Resiko kegagalan pada transformator akan meningkat setelah kertas mengalami degradasi. Gambar 2.6 menunjukkan sketsa tingkat penuaan terhadap mekanisme penuaan yang berbeda. Tingkat penuaan dipengaruhi oleh energy aktivasi dan faktor lingkungan untuk setiap suhu yang diberikan[18].



Gambar 2.6 Plot Arrhenius Dengan Perbedaan Mekanisme Penuaan[18]

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

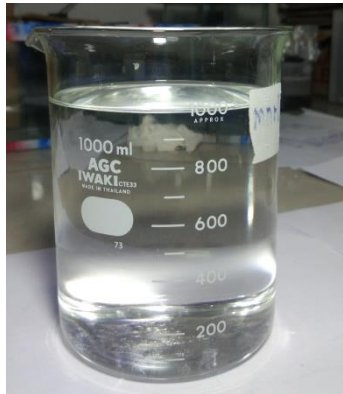
PERANCANGAN PENGUJIAN

3.1 Bahan Pengujian

Bahan pengujian adalah bahan yang akan diproses dan sebagai objek pengambilan data dari pengujian yang akan dilakukan. Bahan-bahan pengujian pada tugas akhir ini adalah isolasi kertas dan minyak isolasi (mineral dan sintetis) yang diperoleh dari P.T. Bambang Djaja Transformer, Surabaya, sehingga merupakan isolasi yang umum digunakan di pasaran. Sedangkan minyak nabati yang digunakan adalah minyak kelapa murni yang didapat dari produsen langsung.

3.1.1 Minyak Mineral

Minyak mineral yang digunakan pada penelitian ini berjenis Shell Diala B. Minyak jenis ini sering digunakan untuk transformator distribusi PLN. Minyak mineral merupakan minyak yang berasal dari minyak bumi dan diolah sehingga dapat digunakan sebagai media isolasi minyak transformator.



Gambar 3.1 Minyak Mineral Shell Diala B

3.1.2 Minyak Nabati

Minyak nabati yang digunakan adalah minyak kelapa murni yang berasal dari produsen. Minyak jenis ini biasanya digunakan sebagai bahan masakan, namun pada penelitian ini digunakan sebagai bahan uji karena kapasitas produksinya yang besar di Indonesia dan diharapkan mampu menjadi minyak alternatif pengganti minyak jenis mineral yang

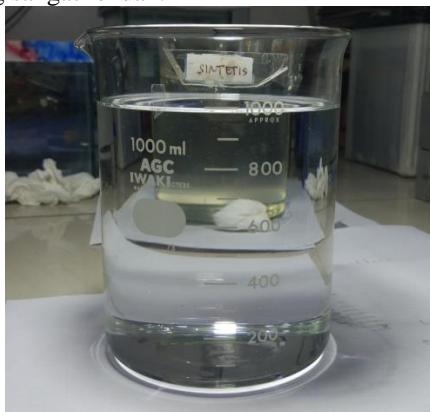
berasal dari minyak bumi dan minyak sintetis yang berasal dari bahan kimia yang memiliki pengaruh buruk pada lingkungan.



Gambar 3.2 Minyak Nabati Kelapa Murni

3.1.3 Minyak Sintetis

Minyak sintetis yang digunakan pada penelitian ini adalah cairan silikon. Minyak sintetis ini diproduksi dengan brand “Xiameter” dan seri fluida PMX-561. Minyak ini juga biasa disebut dengan “Polydimethylsiloxane liquid”. Minyak sintetis ini selain digunakan sebagai isolasi minyak transformator, juga digunakan pada peralatan elektrik lain yang dioperasikan pada temperatur tinggi maupun temperatur yang sangat rendah.



Gambar 3.3 Minyak Sintetis Xiameter PMX-561

3.1.4 Kertas Kraft

Isolasi kertas kraft dipilih karena penggunaannya yang sudah umum pada transformator tegangan tinggi. Kertas kraft yang digunakan adalah jenis *Diamond Dotted Paper* (DDP) yang berasal dari PT. Bambang Djaja Transformer (B&D) dengan ketebalan 0,125 mm.



Gambar 3.4 Kertas Kraft *Diamond Dotted Paper*

3.2 Peralatan Pengujian

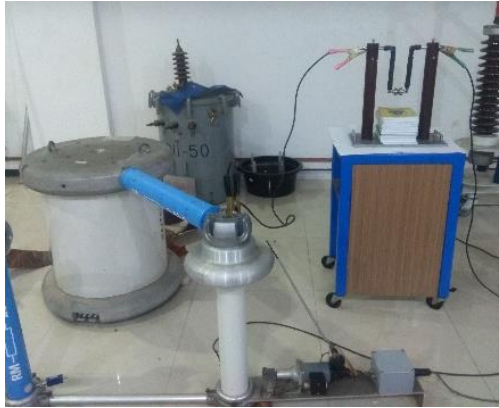
Peralatan pengujian yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC, modul pengujian, dan peralatan lain penunjang pengujian.

3.2.1 Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang digunakan adalah HAEFELY dengan seri DMI 551 berkapasitas 140 kV seperti pada Gambar 3.5. Pembangkitan tegangan tinggi AC digunakan untuk menguji ketahanan isolasi kertas. Tegangan yang dibangkitkan berasal dari tegangan sumber PLN 1 fasa 220 V yang kemudian di *step up* atau dinaikan hingga terjadi kegagalan. Nilai tegangan testing merupakan nilai puncak (V_{peak}), dan untuk mendapatkan nilai V_{rms} maka nilai puncak tersebut harus dibagi $\sqrt{2}$ terlebih dahulu. Jenis transformator yang digunakan pada pengujian termasuk jenis transformator tanpa *bushing*.

3.2.2 Modul Pengujian

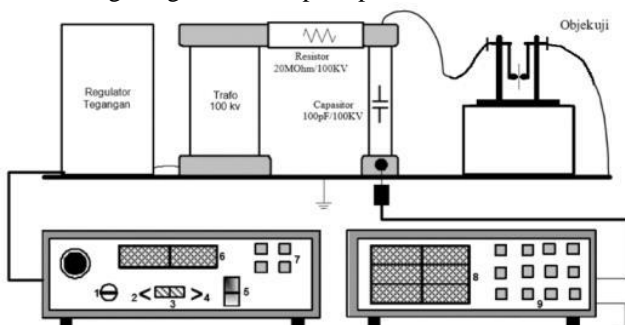
Tegangan yang telah dibangkitkan akan diteruskan ke bahan uji untuk dilakukan pengamatan tegangan tembus yang terjadi. Untuk memudahkan proses pengujian dan pengamatan tegangan tembus maka dibuat modul pengujian dengan rancangan seperti pada Gambar 3.7a.



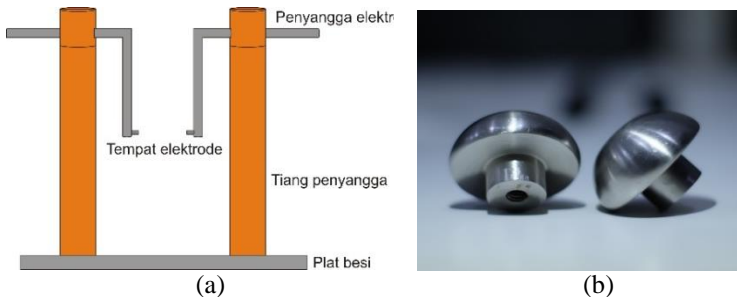
Gambar 3.5 Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Modul pengujian terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian alas yang merupakan plat besi. Kemudian tiang penyangga yang terbuat dari bahan “Novotex”, yaitu bahan isolator yang terbentuk dari campuran bahan kain dan resin yang dikompres. Selanjutnya adalah penyangga elektroda yang terbuat dari *stainless steel* dengan *grade* 304. Penyangga elektroda ini berfungsi sebagai tempat peletakan elektroda yang dapat diatur posisinya sehingga jarak sela antar elektroda pun dapat diatur.

Elektroda yang digunakan merupakan elektroda berbentuk jamur (Gambar 3.7b) dengan dimensi elektroda disesuaikan dengan standar pengujian tegangan tembus IEC 60156. Elektroda ini dibuat dari bahan *stainless steel* dengan *grade* 304 seperti pada Gambar 3.8b.



Gambar 3.6 Skema Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

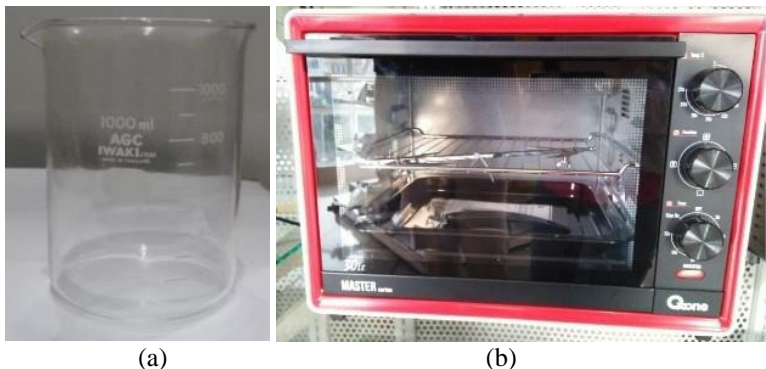


Gambar 3.7 a. Modul Pengujian **b.** Elektroda Jamur Berbahan *StainlessSteel*

3.2.3 Peralatan Penunjang

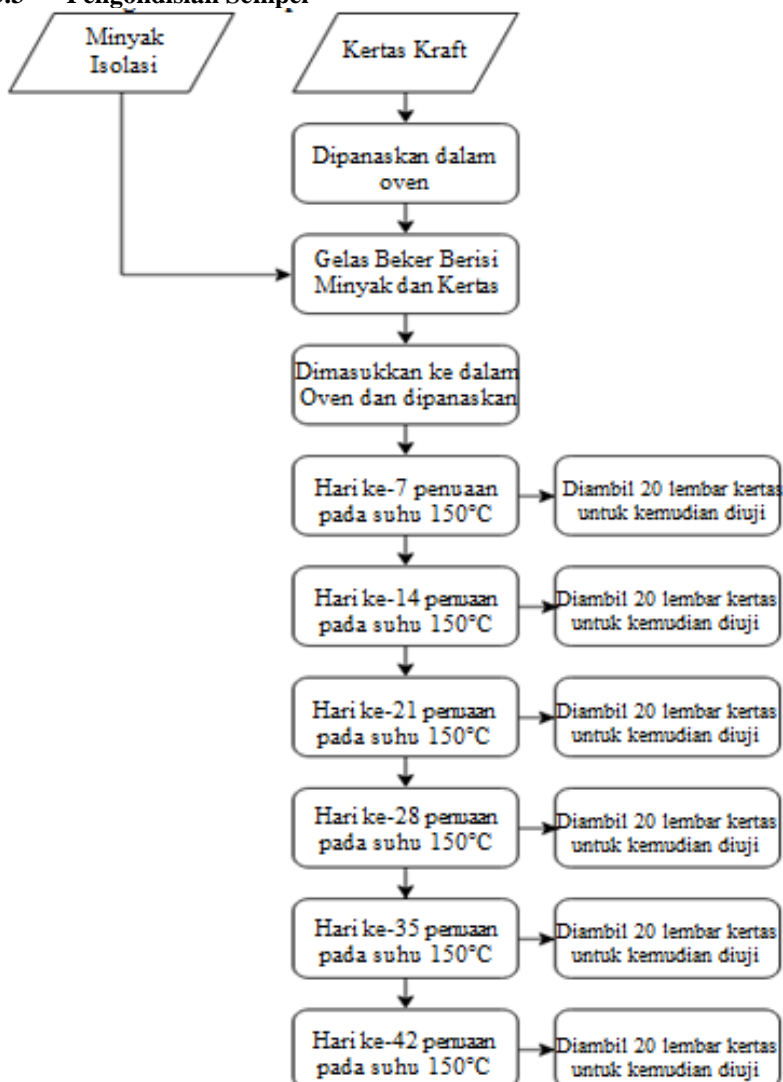
Peralatan tambahan diperlukan guna menunjang pengujian dan penelitian yang dilakukan. Beberapa peralatan tersebut adalah:

1. Mikrometer Sekrup, digunakan sebagai pengukur ketebalan kertas.
2. Thermometer IR, digunakan sebagai pengukur temperatur pada saat pengondisian dan pengujian.
3. Gelas Beker, digunakan untuk wadah minyak isolasi dan juga sebagai bejana uji.
4. Oven Listrik, digunakan sebagai media penuaan termal pada minyak dan kertas.



Gambar 3.8 a. Gelas Beker ukuran 1000ml, **b.** Oven Listrik

3.3 Pengondisian Sempel



Gambar 3.9 Diagram Alir Pengondisian Sempel

Pada Gambar 3.9 ditunjukkan diagram alir yang digunakan untuk ketiga jenis minyak, yaitu mineral, nabati, dan sintetis.

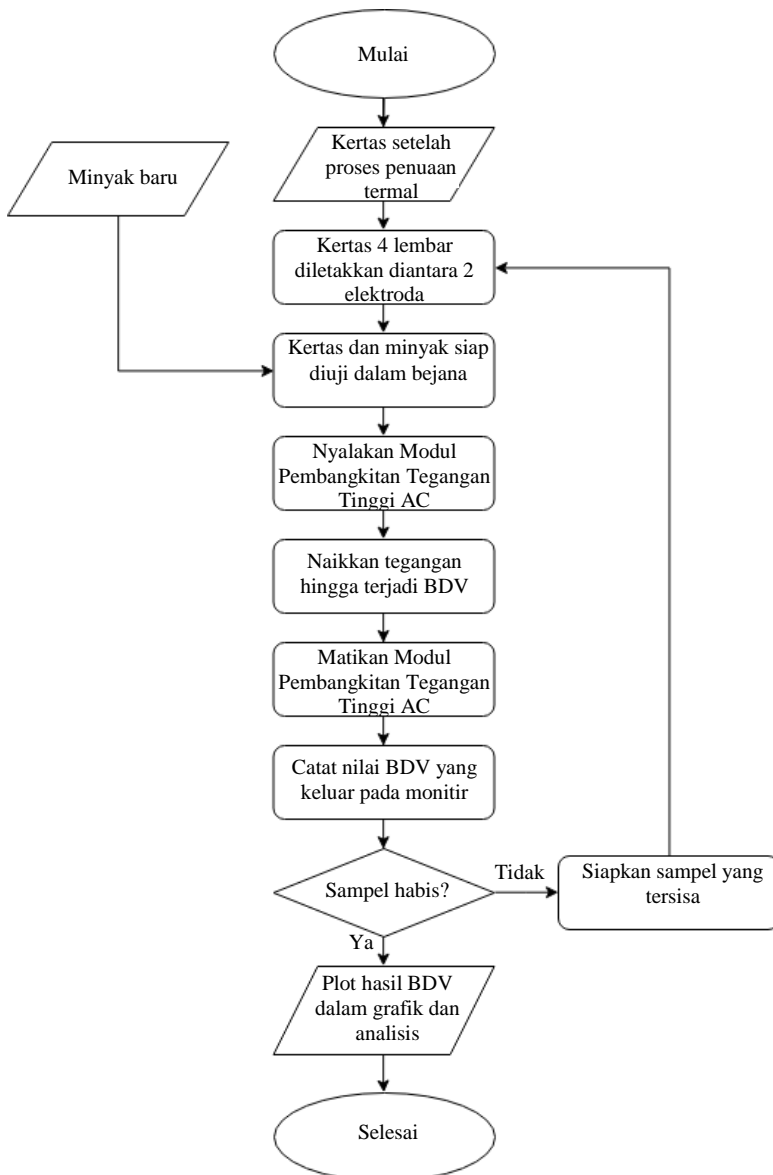
Minyak ditempatkan pada gelas beker dengan volume 1000ml. Kertas kraft yang dimiliki berupa gulungan, sehingga dilakukan pemotongan dengan ukuran 60mm x 60mm yang mana luasnya sudah melebihi diameter elektroda. Jumlah total kertas yang di potong sebanyak 360 lembar dan dibagi kedalam 3 jenis minyak. Setelah itu, kertas yang sudah dipotong dimasukkan ke dalam oven selama 60 menit dengan suhu 85°C dimaksudkan agar kadar air dalam kertas mengalami penurunan dan setiap kertas memiliki kondisi awal yang sama. Setelah proses pengurangan kadar air, kertas tersebut dimasukkan kedalam gelas beker yang sudah berisi minyak isolasi masing-masing 120 lembar. Selanjutnya gelas beker yang berisi kertas yang direndam minyak dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 150°C untuk memulai proses penuaan secara termal. Proses penuaan ini dilakukan selama 42 hari, yang setiap 7 hari dilakukan pengujian pada kertas untuk mengetahui pengaruh penuaan secara termal terhadap tegangan tembus dengan diambil sebanyak 20 lembar.

3.4 Metode Pengujian

Pada Gambar 3.10 ditunjukkan diagram alir yang digunakan untuk melakukan pengujian pada isolasi kertas setelah dilakukan penuaan secara termal.

Sampel uji berasal dari lembaran kertas kraft yang telah melalui proses penuaan termal. Setiap satu sampel uji, memiliki ketebalan 0,5mm yang mana adalah tumpukan dari 4 lembar kertas kraft. Sehingga dari 20 kertas yang diambil, terdapat 5 sampel uji untuk setiap jenis minyak. Minyak isolasi yang digunakan pada pengujian merupakan minyak isolasi dengan kondisi baru atau bukan minyak isolasi yang telah melalui proses penuaan termal. Minyak isolasi ini digunakan untuk menggantikan isolasi udara yang ada pada sekitar sample uji, sehingga pada saat pengujian, BDV terjadi tepat di sampel uji.

Diagram alir pada Gambar 3.10 ini dilakukan dengan menggunakan jenis minyak yang berbeda sesuai dengan jenis minyak sampel uji ketika mengalami proses penuaan termal.



Gambar 3.10 Diagram Alir Metode Pengujian BDV pada Kertas

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

4.1 Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Proses Penuaan Termal

Pengujian BDV dilakukan sesuai metode pengujian yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sampel pengujian setiap 7 hari berjumlah 5 sampel, dengan ketebalan sampel 0,5mm. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel dibawah ini yang selanjutnya akan di analisis.

Tabel 4.1 Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	29,3
2	29,93
3	30,2
4	29,5
5	29,64
Rata-rata	29,714

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-7 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 29,714 kV.



Gambar 4.1 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7

Tabel 4.2 Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	29,1
2	28,47
3	30,4

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
4	28,7
5	29,77
Rata-rata	29,288

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-14 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 29,288 kV.



Gambar 4.2 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14

Tabel 4.3 Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	28
2	25,71
3	26,4
4	26,23
5	26,8
Rata-rata	26,628

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-21 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 26,628 kV.



Gambar 4.3 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21

Tabel 4.4 Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	26,54
2	25,8
3	25,4
4	25,6
5	25,74
Rata-rata	25,816

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-28 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 25,816 kV.



Gambar 4.4 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28

Table 4.5 Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	24
2	23,7
3	23,55
4	23,58
5	23
Rata-rata	23,566

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-35 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 23,566 kV.



Gambar 4.5 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35

Tabel 4.6 Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Mineral

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	20,1
2	21,88
3	21,9
4	21,8
5	21
Rata-rata	21,336

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-42 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 21,336 kV.



Gambar 4.6 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Mineral dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42

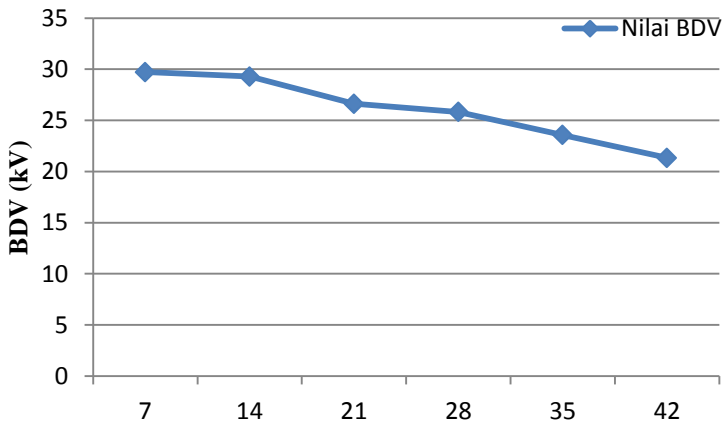
Hasil dari pengujian BDV pada kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral pada hari ke-7 adalah 29,714 kV. Lalu pada hari ke-14 nilai BDV sebesar 29,288 kV. Pada hari ke-21 nilai BDV menjadi 26,628 kV. Pada hari ke-28 nilai BDV menjadi 25,816 kV. Pada 7 hari berikutnya atau hari ke-35 nilai BDV menjadi 23,566 kV. Dan pada hari ke-42 atau hari terakhir pengujian, nilai BDV menjadi 21,336 kV.

4.1.1 Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral

Tabel 4.7 Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Mineral

No.	X = Hari ke-	Y = Nilai BDV (kV)	XY	X ²
1	7	29,714	245,77	49
2	14	29,288	488,88	196
3	21	26,628	670,194	441
4	28	25,816	819,56	784
5	35	23,566	960,33	1225
6	42	21,336	1071,924	1764
Total	147	156,348	3620,988	4459
Rata-rata	24,5	26,058	603,498	743,1667

Agar memudahkan pembacaan, berikut hasil BDV dari kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral setelah melalui proses penuaan termal dalam bentuk grafik yang tertera pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Penuaan Termal

Dari data pengujian dapat diamati bahwa hari ke-7 penuaan termal kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral memiliki nilai BDV tertinggi yaitu 29,714 kV. Sedangkan hari ke-42 penuaan termal

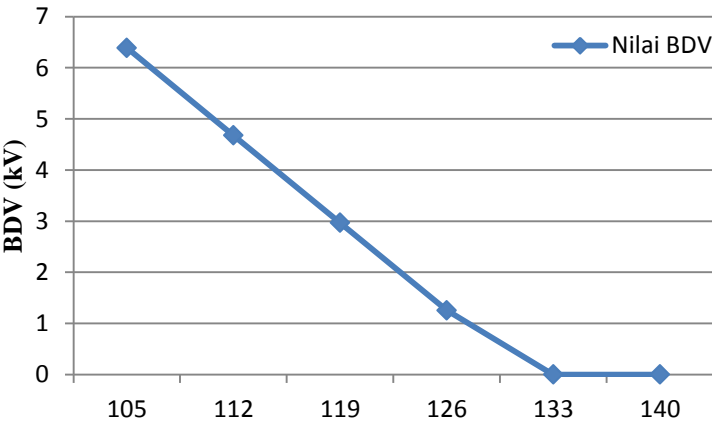
kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral memiliki nilai BDV terendah yaitu 21,336 kV. Pengujian yang dilakukan setiap 7 hari ini menunjukkan jika nilai BDV semakin menurun seiring lamanya proses penuaan termal. Hal ini diakibatkan karena rusaknya ikatan antar senyawa penyusun kertas kraft kerana paparan suhu yang sangat tinggi.

Dari tabel 4.7 selanjutnya dapat dilakukan analisis menggunakan regresi linear sehingga mampu diketahui kapan isolasi kertas kraft mengalami kerusakan.

Tabel 4.8 Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Mineral

Hari ke-	Nilai BDV (kV)
105	6,387086
112	4,676571
119	2,966057
126	1,255543
133	0
140	0

Agar memudahkan pembacaan tabel, berikut nilai BDV hasil regresi linier dalam bentuk grafik yang tertera pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral Setelah Penuaan Termal

Gambar 4.8 merupakan grafik regresi linier dari data pengujian yang didapatkan. Grafik yang ditampilkan merupakan kejadian pada hari ke-105 hingga hari ke-140. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa isolasi kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral akan mengalami kerusakan total setelah hari ke-126, yang mana nilai BDV pada hari ke-126 menunjukkan nilai BDV terendah yaitu sebesar 1,256 kV.

4.2 Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Proses Penuaan Termal

Pengujian BDV dilakukan sesuai metode pengujian yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sampel pengujian setiap 7 hari berjumlah 5 sampel, dengan ketebalan sampel 0,5mm. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel dibawah ini yang selanjutnya akan di analisis.

Tabel 4.9 Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	35
2	34,8
3	35,62
4	34,74
5	35,39
Rata-rata	35,11

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-7 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 35,11 kV.



Gambar 4.9 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7

Tabel 4.10 Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	35,97
2	35,2
3	34
4	34,74
5	34,69
Rata-rata	34,92

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-14 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 34,92 kV.



Gambar 4.10 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14

Tabel 4.11 Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	32,35
2	31,8
3	32,12
4	31,8
5	31,5
Rata-rata	31,914

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-21 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 31,914 kV.



Gambar 4.11 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21

Tabel 4.12 Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	28,8
2	29,33
3	29,3
4	29,5
5	29,42
Rata-rata	29,27

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-28 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 29,27 kV.



Gambar 4.12 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28

Table 4.13 Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	27,4
2	27,6
3	27,23

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
4	27,35
5	27,61
Rata-rata	27,438

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-35 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 27,438 kV.



Gambar 4.13 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35

Tabel 4.14 Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Nabati

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	25,65
2	25,36
3	25,5
4	25,6
5	25,5
Rata-rata	25,522

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-42 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 25,522 kV.



Gambar 4.14 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Nabati dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42

Hasil dari pengujian BDV pada kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati pada hari ke-7 adalah 35,11 kV. Lalu pada hari ke-14 nilai BDV sebesar 34,92 kV. Pada hari ke-21 nilai BDV menjadi 31,914 kV. Pada hari ke-28 nilai BDV menjadi 29,27 kV. Pada 7 hari berikutnya atau hari ke-35 nilai BDV menjadi 27,438 kV. Dan pada hari ke-42 atau hari terakhir pengujian, nilai BDV menjadi 25,522 kV.

4.2.1 Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati

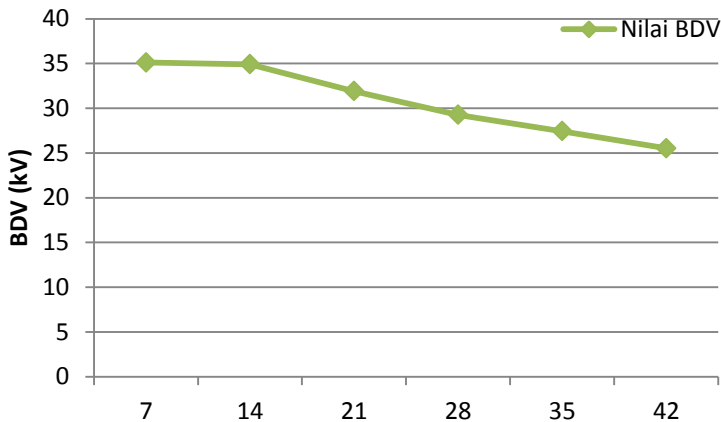
Tabel 4.15 Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Nabati

No.	X = Hari ke-	Y = Nilai BDV (kV)	XY	X ²
1	7	35,11	245,77	49
2	14	34,92	488,88	196
3	21	31,914	670,194	441
4	28	29,27	819,56	784
5	35	27,438	960,33	1225
6	42	25,522	1071,924	1764
Total	147	184,174	4256,658	4459
Rata-rata	24,5	30,69566667	709,443	743,1667

Agar memudahkan pembacaan, berikut hasil BDV dari kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati setelah melalui proses penuaan termal dalam bentuk grafik yang tertera pada Gambar 4.15.

Dari data pengujian dapat diamati bahwa hari ke-7 penuaan termal kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati memiliki nilai BDV tertinggi yaitu 35,11 kV. Sedangkan hari ke-42 penuaan termal kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati memiliki nilai BDV terendah yaitu 25,522 kV. Pengujian yang dilakukan setiap 7 hari ini menunjukkan jika nilai BDV semakin menurun seiring lamanya proses penuaan termal. Hal ini diakibatkan karena rusaknya ikatan antar senyawa penyusun kertas kraft karena paparan suhu yang sangat tinggi.

Dari tabel 4.15 selanjutnya dapat dilakukan analisis menggunakan regresi linear sehingga mampu diketahui kapan isolasi kertas kraft mengalami kerusakan.

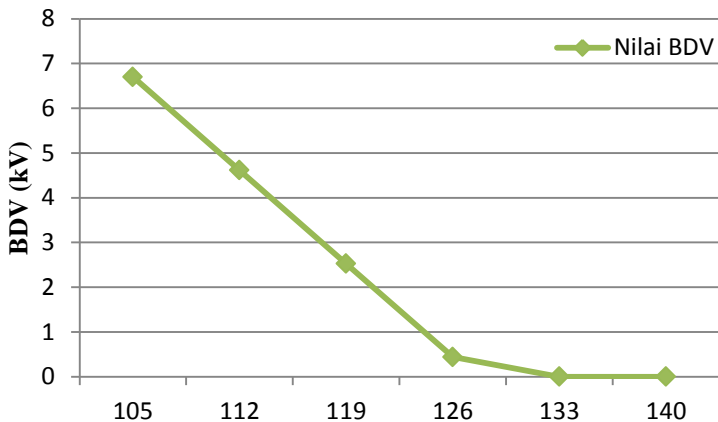


Gambar 4.15 Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Penuaan Termal

Tabel 4.16 Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Nabati

Hari ke-	Nilai BDV (kV)
105	6,700095
112	4,613524
119	2,526952
126	0,440381
133	0
140	0

Gambar 4.16 merupakan grafik regresi linier dari data pengujian yang didapatkan. Grafik yang ditampilkan merupakan kejadian pada hari ke-105 hingga hari ke-140. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa isolasi kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati akan mengalami kerusakan total setelah hari ke-126, yang mana nilai BDV pada hari ke-126 menunjukkan nilai BDV terendah yaitu sebesar 0,44 kV.



Gambar 4.16 Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Nabati Setelah Penuaan Termal

4.3 Analisis Pengujian BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Proses Penuaan Termal

Pengujian BDV dilakukan sesuai metode pengujian yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sampel pengujian setiap 7 hari berjumlah 5 sampel, dengan ketebalan sampel 0,5mm. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel dibawah ini yang selanjutnya akan di analisis.

Tabel 4.17 Nilai BDV Hari ke-7 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	29,9
2	29,6
3	31,4
4	29,36
5	30,4
Rata-rata	30,132

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-7 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 30,132 kV.



Gambar 4.17 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-7

Tabel 4.18 Nilai BDV Hari ke-14 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	26,86
2	29,5
3	29,94
4	30,6
5	31,8
Rata-rata	29,74

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-14 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 29,74 kV.



Gambar 4.18 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-14

Tabel 4.19 Nilai BDV Hari ke-21 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	27,6
2	27,12
3	27,2

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
4	27,8
5	27,64
Rata-rata	27,472

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-21 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 27,472 kV.

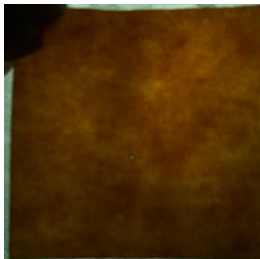


Gambar 4.19 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-21

Tabel 4.20 Nilai BDV Hari ke-28 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	26,5
2	26,6
3	26,3
4	26,4
5	26,3
Rata-rata	26,42

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-28 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 26,42 kV.

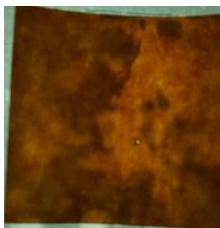


Gambar 4.20 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-28

Table 4.21 Nilai BDV Hari ke-35 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	24,22
2	24,6
3	24,6
4	24,7
5	24,7
Rata-rata	24,564

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-35 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 24,564 kV.



Gambar 4.21 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-35

Tabel 4.22 Nilai BDV Hari ke-42 Minyak Sintetis

Sampel ke-	Nilai BDV (kV)
1	22,14
2	21,8
3	22,6
4	22,8
5	22,5
Rata-rata	22,368

Hasil rata-rata lima sampel dari pengujian hari ke-42 ini menunjukkan nilai BDV sebesar 22,368 kV.



Gambar 4.22 Kertas Kraft Penuaan Termal Minyak Sintetis dengan Hasil Uji BDV Hari ke-42

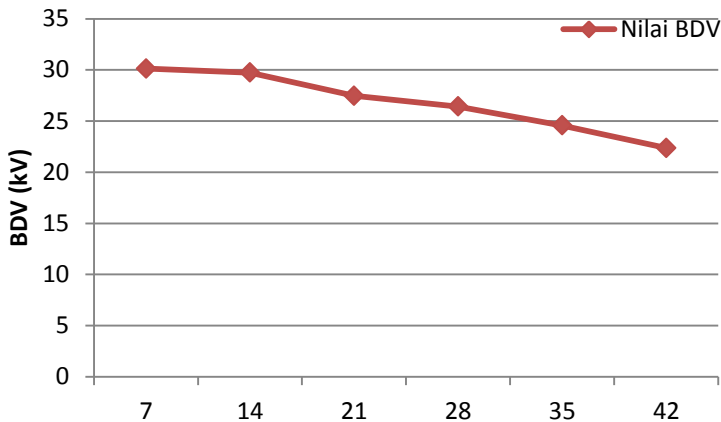
Hasil dari pengujian BDV pada kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis pada hari ke-7 adalah 30,132 kV. Lalu pada hari ke-14 nilai BDV sebesar 29,74 kV. Pada hari ke-21 nilai BDV menjadi 27,472 kV. Pada hari ke-28 nilai BDV menjadi 26,42 kV. Pada 7 hari berikutnya atau hari ke-35 nilai BDV menjadi 24,564 kV. Dan pada hari ke-42 atau hari terakhir pengujian, nilai BDV menjadi 22,368 kV.

4.3.1 Analisis Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis

Tabel 4.23 Nilai BDV Hari ke-7 sampai ke-42 Minyak Sintetis

No.	X = Hari ke-	Y = Nilai BDV (kV)	XY	X ²
1	7	30,132	210,924	49
2	14	29,74	416,36	196
3	21	27,472	576,912	441
4	28	26,42	739,76	784
5	35	24,564	859,74	1225
6	42	22,368	939,456	1764
Total	147	160,696	3743,152	4459
Rata-rata	24,5	26,78266667	623,8587	743,1667

Agar memudahkan pembacaan, berikut hasil BDV dari kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis setelah melalui proses penuaan termal dalam bentuk grafik yang tertera pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik Nilai BDV Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Penuaan Termal

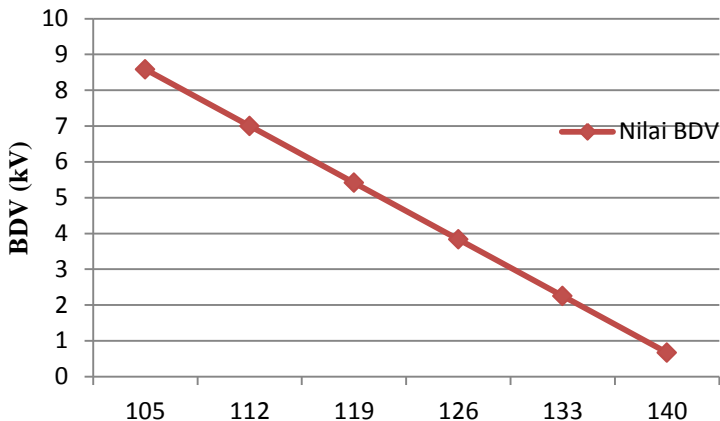
Dari data pengujian dapat diamati bahwa hari ke-7 penuaan termal kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis memiliki nilai BDV tertinggi yaitu 30,132 kV. Sedangkan hari ke-42 penuaan termal kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis memiliki nilai BDV terendah yaitu 22,368 kV. Pengujian yang dilakukan setiap 7 hari ini menunjukkan jika nilai BDV semakin menurun seiring lamanya proses penuaan termal. Hal ini diakibatkan karena rusaknya ikatan antar senyawa penyusun kertas kraft karena paparan suhu yang sangat tinggi.

Dari tabel 4.23 selanjutnya dapat dilakukan analisis menggunakan regresi linear sehingga mampu diketahui kapan isolasi kertas kraft mengalami kerusakan.

Tabel 4.24 Nilai BDV Hasil Regresi Linier pada Minyak Sintetis

Hari ke-	Nilai BDV (kV)
105	8,57981
112	6,996952
119	5,414095
126	3,831238
133	2,248381
140	0,665524

Agar memudahkan pembacaan nilai BDV hasil regresi, dibuatlah grafik yang tertera pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik Regresi Linier Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Sintetis Setelah Penuaan Termal

Gambar 4.24 merupakan grafik regresi linier dari data pengujian yang didapatkan. Grafik yang ditampilkan merupakan kejadian pada hari ke-105 hingga hari ke-140. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa isolasi kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis akan mengalami kerusakan total setelah hari ke-140, yang mana nilai BDV pada hari ke-140 menunjukkan nilai BDV terendah yaitu sebesar 0,666 kV.

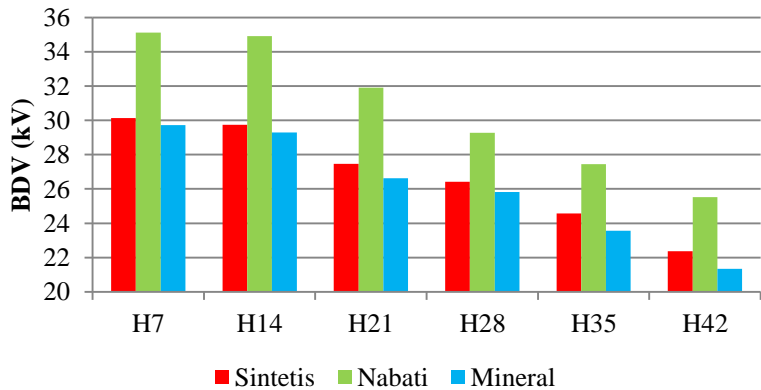
4.4 Analisis Hubungan Penuaan Termal Isolasi Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis

Pada analisis ini akan dilakukan perbandingan nilai BDV antara kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral, kertas kraft yang direndam dalam minyak nabati, dan kertas kraft yang direndam dalam minyak sintetis serta tingkat penuannya.

Tabel 4.25 Hasil pengujian BDV pada Kertas kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis setelah penuaan termal

HASIL PENGUJIAN			
Hari ke-	Mineral	Nabati	Sintetis
7	29,714 kV	35,11 kV	30,132 kV
14	29,288 kV	34,92 kV	29,74 kV
21	26,628 kV	31,914 kV	27,472 kV
28	25,816 kV	29,27 kV	26,42 kV
35	23,566 kV	27,438 kV	24,564 kV
42	21,336 kV	25,522 kV	22,368 kV

Agar mudah dalam pembacaan, maka data dari Tabel 4.25 disajikan dalam Grafik yang ada pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik Karakteristik Hubungan Penuaan Termal dengan BDV pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam 3 Jenis Minyak

Setelah dilakukan pengujian pada kertas kraft yang direndam dalam minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis dengan proses penuaan termal, dapat dilihat bahwa semua jenis minyak isolasi mengalami proses penuaan dibuktikan dengan data pengujian yang menunjukkan penurunan nilai BDV pada setiap pengujiannya.

Pada hari ke-7 penuaan termal, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati memiliki prosentase 15,37% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak mineral dan 14,18% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Pada hari ke-14 penuaan termal, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati memiliki prosentase 16,13% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak mineral dan 14,83% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Pada hari ke-21, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati masih lebih tinggi 16,56% dari kertas yang direndam minyak mineral dan 13,92% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Pada hari ke-28, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati masih lebih tinggi 11,8% dari kertas yang direndam minyak mineral dan 9,74% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Pada hari ke-35, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati masih lebih tinggi 14,11% dari kertas yang direndam minyak mineral dan 10,47% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Pada hari ke-42, nilai BDV pada kertas yang direndam minyak nabati masih lebih tinggi 16,38% dari kertas yang direndam minyak mineral dan 12,36% lebih tinggi dari kertas yang direndam minyak sintetis.

Semakin lama waktu penuaan termal, kualitas isolasi kertas kraft semakin turun. Hal ini terjadi pada semua sampel dan semua jenis minyak yang digunakan perendaman.

Tabel 4.26 Perbandingan Nilai BDV Hasil Regresi pada Kertas Kraft yang Direndam Dalam Minyak Mineral, Minyak Nabati, dan Minyak Sintetis

Hari ke-	Minyak Mineral	Minyak Nabati	Minyak Sintetis
105	6,387086 kV	6,700095 kV	8,57981 kV
112	4,676571 kV	4,613524 kV	6,996952 kV
119	2,966057 kV	2,526952 kV	5,414095 kV
126	1,255543 kV	0,440381 kV	3,831238 kV
133	0	0	2,248381 kV
140	0	0	0,665524 kV

Berdasarkan hasil regresi linier yang dilakukan. Pada hari ke-126, minyak mineral dan minyak nabati memiliki nilai BDV terendah sebelum akhirnya mengalami kerusakan dengan nilai BDV masing – masing 1,255543 kV dan 0,440381 kV berturut – turut. Sedangkan pada minyak sintetis nilai BDV terendah terjadi pada hari ke-140 dengan nilai BDV sebesar 0,665524 kV.

Dari data tersebut minyak sintetis memiliki tingkat penuaan yang paling rendah dengan mampu bertahan hingga hari ke-140. Sedangkan tingkat penuaan pada minyak mineral dan minyak nabati nilainya tidak jauh berbeda, yaitu terjadi setelah hari ke-126 yang mana minyak mineral memiliki tingkat penuaan sedikit lebih rendah dibandingkan minyak nabati dilihat dari nilai BDV pada hari ke-126 dengan minyak mineral memiliki nilai BDV lebih tinggi dari minyak nabati.

Namun analisis ini tidak sepenuhnya benar karena dilakukan dengan menggunakan regresi linier dari data 42 hari pengujian. Sedangkan pada pengujian yang dilakukan selama 42 hari, Minyak sintetis memiliki tingkat penuaan terkecil dengan prosentase sebesar 25,78% dari hari ke-7 hingga hari ke-42. Selanjutnya minyak nabati dengan prosentase sebesar 27,3% dan terbesar adalah minyak nabati sebesar 28,2%.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Proses penuaan termal pada isolasi kertas yang diresapi minyak mengakibatkan penurunan nilai BDV.
2. Semakin lama proses penuaan termal yang terjadi, semakin rendah nilai BDV pada isolasi kertas kraft.
3. Kertas kraft dengan perendaman minyak mineral memiliki tingkat penuaan yang tinggi yaitu 28,2%.
4. Kertas kraft dengan perendaman minyak nabati memiliki tingkat penuaan sebesar 27,3%.
5. Dan kertas kraft dengan perendaman minyak sintetis memiliki tingkat penuaan terendah dengan 25,78%
6. Penggunaan minyak kelapa murni sebagai bahan isolator cair untuk perendaman pada kertas kraft, mampu memiliki tingkat penuaan termal yang lebih rendah daripada kertas kraft dengan perendaman minyak mineral.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan diantaranya:

1. Minyak kelapa murni bisa menjadi alternatif pengganti minyak isolasi pada transformator maupun peralatan listrik tegangan tinggi yang memerlukan minyak sebagai isolasinya.
2. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap minyak kelapa murni sebagai alternatif penggunaan minyak isolasi pada transformator.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Nasrat, N. Kassem, and N. Shukry, “*Aging Effect on Characteristics of Oil Impregnated Insulation Paper for Power Transformers*,” 2013, vol. 5, pp. 1–7.
- [2] N. A. M. Ishak, N. A. M. Jamail, dan N. A. Othman, “*High voltage characteristics of kraft paper insulator with effect of palm oil and coconut oil*,” dalam 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016), 2016, hlm. 1–8.
- [3] Suwarno dan R. Pasaribu, “*Effects of thermal aging on paper characteristics in paper-mineral oil composite insulation*,” dalam 2017 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM), 2017, vol. 2, hlm. 705–70.
- [4] P. Sun, W. Sima, M. Yang, dan J. Wu, “*Influence of thermal aging on the breakdown characteristics of transformer oil impregnated paper*,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, no. 6, hlm. 3373–3381, Des 2016.
- [5] A. A. Abdelmalik, J. C. Fothergill, dan S. J. Dodd, “*Aging of Kraft paper insulation in natural ester dielectric fluid*,” dalam 2013 IEEE International Conference on Solid Dielectrics (ICSD), 2013, hlm. 541–544.
- [6] I. Iryanto, H. Hermawan, dan A. Syakur, “*STUDI PENGARUH PENUAAN (AGING) TERHADAP LAJU DEGRADASI KUALITAS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR TENAGA*,” Des 2011.
- [7] T. A. Prevost and T. V. Oommen, “*Cellulose Insulation in Oil-Filled Power Transformers: Part I—History and Development*,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 22, No. 1, 2006, pp. 28–35.
- [8] B. Sparling, “*Assessing Water Content In Solid Transformer Insulation From Dynamic Measurement of Moisture In Oil*,” presented at the IEEE PES Seminar, Vancouver BC, 03-Apr-2008.
- [9] A. A. Abdelmalik, “*Analysis of thermally aged insulation paper in a natural ester-based dielectric fluid*,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, no. 5, hlm. 2408–2414, Okt 2015.
- [10] M. A. G. Martins dan A. R. Gomes, “*Comparative study of the thermal degradation of synthetic and natural esters and mineral*

oil: effect of oil type in the thermal degradation of insulating kraft paper,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 28, no. 2, hlm. 22–28, Mar 2012.

- [11] N. Pattanadech, S. Maneerot, K. Jariyanurat, dan P. Nimsanong, “*Electrical characteristic comparison of mineral oil and natural ester for transformer applications,*” dalam 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), 2017, hlm. 1–5.
- [12] Y. Biçen, Y. Çilliyüz, F. Aras, dan G. Aydugan, “Aging of Paper Insulation in Natural Ester & Mineral Oil,” *Electrical and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 3, hlm. 141–146, 2012.
- [13] Chapman, Stephen J., 2005. “Electric Machinery Fundamentals”. New York: McGraw-Hill.
- [14] R. Radhitya, “*Pengaruh Rendaman Minyak Transformator Terhadap Kekuatan Dielektrik Isolasi Kertas,*” Tek. Elektro Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014
- [15] Suwarno and S. Aminudin, “Investigation on thermal aging of ester from palm oil and kraft paper composite insulation system for high voltage transformer,” *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 13, pp. 75–84, 2017.
- [16] Negara, I.M.Y., *TEKNIK TEGANGAN TINGGI*. 2013, Yogyakarta.
- [17] P. Saha, Tapan Kumar. Prithwiraj, *Transformer Ageing: Monitoring and Estimation Techniques*.
- [18] N. Azis, “Ageing Assessment of Insulation Paper with Consideration of In-Service Ageing and Natural Ester Application,” p. 213, 2012.

LAMPIRAN A

Datasheet Minyak Transformator Jenis Sintetis



XIAMETER® 561 Transformer Liquid

Polydimethylsiloxane

FEATURES

- Meets the requirements of both IEC 836 and ASTM D 4652-92
- Essentially non-toxic
- Environmentally safe
- Non-halogenated
- Compatible with a wide range of solid electrical insulating materials
- Contains no additives
- Classified as non-hazardous
- High thermal stability and oxidation resistance
- Higher fire point and lower heat release rate than other types of class K insulating liquids
- Good electrical properties and operating capabilities over a wide temperature range
- Non-sludging

APPLICATIONS

- Cooling and insulating liquid for transformers and other electrical equipment.

TYPICAL PROPERTIES

Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local XIAMETER sales representative prior to writing specifications on this product.

Parameter	Unit	Value
Table 1: Tested to ASTM 4652-92		
Appearance		Crystal clear liquid
Density at 25°C (77°F)	kg/dm ³	0.96
Viscosity at 25°C (77°F)	mm ² /s	50
Water content	ppm	30
Specific heat	kJ/kg.K	1.51
Thermal conductivity	W/(m.K)	0.151
Refractive index at 25°C (77°F)		1.404
Breakdown voltage ¹	kV	50
Permittivity at 25°C (77°F) – 50Hz		2.7
Dissipation factor at 25°C (77°F) - 50Hz		0.0001
Volume resistivity at 25°C (77°F)	ohm.cm	1.0x10 ¹³ □
Flash point open cup	°C	>300
	°F	>572
Fire point – open cup	°C	370
	°F	698

1. Breakdown voltage measured as in IEC 156:1995 section 3.4.2.

DESCRIPTION

XIAMETER PMX-561

Transformer Liquid is a polydimethyl silicone liquid that meets the requirements of:

* International Electrotechnical Commission (IEC) 836

“specifications for silicone liquid for electrical purposes” (Silicone Type T-1).

* ASTM D 4652-92 “silicone fluids for electrical insulation”.

* IEC 1100 – “Classification of insulating liquids according to fire point and net calorific value” (Class K3).

XIAMETER PMX-561

Transformer Liquid has a fire point exceeding the requirements of these documents and is within the IEC 1100 class with lowest net calorific value (heat of combustion).

With excellent electrical insulation properties over a wide temperature range, combined with high thermal stability, XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid is suitable for transformers and other electrical equipment designed to operate at high temperatures or at very low temperatures.



XIAMETER(R) Material Safety Data Sheet

Page: 4 of 7

Version: 1.1

Revision Date: 2010/05/17

XIAMETER(R) PMX-561 TRANSFORMER LIQUID

Eyes: Use proper protection - safety glasses as a minimum.

Skin: Washing at mealtime and end of shift is adequate.

Inhalation/Suitable: No respiratory protection should be needed.

Respirator:

Precautionary Measures: Avoid eye contact. Use reasonable care.

Note: These precautions are for room temperature handling. Use at elevated temperature or aerosol/spray applications may require added precautions. For further information regarding aerosol inhalation toxicity, please refer to the guidance document regarding the use of silicone-based materials in aerosol applications that has been developed by the silicone industry (www.SEHSC.com) or contact the Dow Corning customer service group.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Physical Form: Liquid
Color: Colorless
Odor: Characteristic odor
Specific Gravity @ 25°C: 0.96
Viscosity: 50 cSt

Freezing/Melting Point: Not determined.
Boiling Point: > 65 °C
Vapor Pressure @ 25°C: Not determined.
Vapor Density: Not determined.
Solubility in Water: Not determined.
pH: Not determined.
Volatile Content: Not determined.
Flash Point: > 213.8 °F / > 101 °C (Closed Cup)
Autoignition Temperature: Not determined.
Flammability Limits in Air: Not determined.

Note: The above information is not intended for use in preparing product specifications.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability: Stable.

Hazardous Polymerization: Hazardous polymerization will not occur.

Polymerization:

Conditions to Avoid: None.

Materials to Avoid: Oxidizing material can cause a reaction.

Hazardous Decomposition Products

Thermal breakdown of this product during fire or very high heat conditions may evolve the following decomposition products: Carbon oxides and traces of incompletely burned carbon compounds. Silicon dioxide. Formaldehyde.

LAMPIRAN B

Datasheet Minyak Transformator Jenis Mineral



Shell Diala Oil B

Electrical insulating oil

Shell Diala Oil B is an uninhibited electrical insulating fluid, for use where normal oxidation resistance is required. It is a highly refined naphthenic mineral oil with natural low pour point characteristics.

Applications

Shell Diala Oil B is primarily intended for use in:

- Transformers
- Circuit breakers
- Oil-filled switches
- An insulator and arc extinguishing agent in switchgear and circuit breakers

Performance Features

- **Highly resistant to oxidative degradation**
Resists the formation of oxidation products that can reduce the ability of the oil to insulate and cool electrical windings
- **Rapid heat transfer properties**
An essential quality in electrical insulating systems
- **Compatible with construction materials**
Compatible with all common construction materials used in electrical systems.
- **Outstanding low temperature properties**
Without the need for pour point depressants Shell Diala Oil B does not contain PCB's

Performance Specifications

Shell Diala Oil B meets the following specifications:

IEC 296 Class 1

BS 148 (1996)

Advice

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell Representative

Health & Safety

Shell Diala Oil B is unlikely to present any significant health or safety hazard when properly used in the recommended application, and good standards of industrial and personal hygiene are maintained.

For further guidance on Product Health & Safety refer to the appropriate Shell Product Safety Data Sheet

Storage Precautions

The critical electrical properties of Shell Diala Oil B are easily compromised by minute concentrations of contaminants. Typically encountered contaminants include moisture, particulates, fibres and surfactants. Therefore, it is imperative that electrical insulating oils be kept clean and dry.

It is strongly recommended that storage containers be dedicated for electrical service and include air-tight seals. It is further recommended that electrical insulating oils be stored indoors in climate-controlled environments.

Table 1: Typical Properties of Shell Diala® Oil B			
Properties	ASTM Method	Specification ¹	Typical Values
Appearance		Clear Sediment free Particulate free	Clear Sediment free Particulate free
Density, kg/dm ³ @ 20°C	ISO 3675	0.895 max	0.866
PMCC Flash Point, °C	ISO 2719	143 min	146
Interfacial Tension, dynes/cm @ 25°C	ISO 6295	40 min ²	45
Pour Point, °C	ISO 3016	-30 max	-34
Neutralization Value, mgKOH/g	IEC 296	0.03 max	<0.01
Kinematic Viscosity: @ 40°C, cSt @ 20°C, cSt	ISO 3104	16.5 max 40 max	9.102 21
Corrosive Sulfur	ISO 5662	Non-corrosive	Non-corrosive
Water Content, mg/kg	IEC 733	30 max bulk ³ 40 max drum ³	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND ⁴	ND ⁴
Oxidation Stability 164 hrs @ 100°C	IEC 74		
Sludge, %w		0.10 max	0.05
Acidity, mg KOH/g		0.30 max	0.26
Breakdown Voltage, kV As Delivered After Treatment	IEC 156	30 min 50 min	52 60
Dissipation Factor, 40-62 Hz @ 90°C	IEC 247	0.0030 max	0.0016

1 IEC 296 Class 1 Specification, unless otherwise noted.

2 Shell Diala B Specification

3 An IEC 296 recommendation, not an IEC 296 Specification

4 "ND" not detectable, or below lower limit of detectability

LAMPIRAN C

Datasheet Minyak Nabati



VANAMERONGEN & SON INC.

Page 1 of 5

PRODUCT SPECIFICATION	
PRODUCT:	Organic Virgin Coconut Oil
PRODUCT CODE:	BVCO10
INGREDIENTS:	Organic Virgin Coconut Oil
COUNTRY OF ORIGIN:	Philippines
DESCRIPTION:	
TASTE/SMELL:	Mild, fresh and characteristic of coconut – No off odour
COLOUR:	Colorless, transparent liquid
Size:	10 Liter Pail
ALLERGENS:	None
GMO FREE:	Yes
ORGANIC:	Yes
KOSHER APPROVED:	OK Kosher Certification
HALAL APPROVED:	Islamic Da'Wah Council of the Philippines (IDCP) Certification
INTENDED USE:	Substitution for regular cooking oil, skin care, hair care, and a health product
RAW MATERIAL ACCEPTANCE:	We only receive product from our approved suppliers that complies with our standard operating procedure
PACKAGING:	
Packed in food grade plastic pails that contain 10 liters	
LABELING REQUIREMENTS:	Label Contains: Product Name, Net Weight, Barcode, Kosher Approval

STORAGE CONDITIONS:	Store in odor free area, out of sunlight and away from walls and off of the floor. Avoid storage in high moisture areas. Keep in a clean and well maintained warehouse.	
SHELF LIFE:	Best to use within two years of production date. When stored below 26 degrees C, the oil will solidify. To thaw, heat product to no higher than 40 degree C for no longer than 24 hours. When melted, the product will develop slight turbidity and form white sediments.	
ANALYSIS:		
MICROBIOLOGICAL ANALYSIS:	Total Plate Count	Less than 1000 cfu/g
	Coliform count	Less than 10 cfu/g
	Yeast Count	Less than 100 cfu/g
	Mold Count	Less than 100 cfu/g
	Salmonella	Not Detected
	Escherichia Coli	Not Detected
CHEMICAL ANALYSIS:	Iodine Value	5.0-10.0
	Peroxide Value	3.0 meq/kg oil
	Free Fatty Acid (As Lauric) %	0.10% Max
	Melting Point	26 Degrees C
	Unsatifiable Matter in Oil	Not more than 18g/k
	Moisture & Impurities %	0.10 Max
	Saponification Value	248-265
	Fatty Acid Composition %	
	Caproic	0-0.7
	Caprylic	5.9-8.0
	Capric	5.9-8.0
	Lauric	45.1-56.4
	Myristic	16.8-21.0
	Palmitic	7.5-10.2
	Palmitoleic	Not Detected
	Stearic	2.0-4.0
	Oleic	5.0-10.2
	Linoleic	1-2.5
	Linolenic	0-0.2

BIOGRAFI PENULIS



Muchammad Faza Nichal lahir di Gresik pada 28 Oktober 1994. Anak pertama dari 2 bersaudara, menempuh pendidikan dasar di SD NU 1 Terate Gresik pada tahun 2001 sampai 2007. Kemudian melanjutkan sekolah ke SMPN 1 Gresik pada tahun 2007 sampai 2010. Melanjutkan ke SMAN 1 Gresik pada tahun 2010 sampai 2013. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah penulis aktif di keorganisasian HIMATEKTRO ITS yang menjabat sebagai staff Lingkar Kampus (LINGPUS) pada tahun kepengurusan 2014-2015 dan melanjutkan sebagai Kepala Departemen Lingkar Kampus (LINGPUS) pada tahun kepengurusan 2015-2016. Penulis dapat dihubungi pada alamat email fazanichal@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan